

Как видно из диаграммы остатков, никаких зависимостей не наблюдается. Исходя из анализа диаграммы остатков, а также величины средней абсолютной относительной ошибки, делаем вывод, что прогноз выполнен с достаточным уровнем точности.

#### Список использованных источников

1. Соловьева И. А. Прогнозирование электропотребления с учетом факторов технологической и рыночной среды / И. А. Соловьева, А. П. Дзюба // Научный диалог. 2013. № 7(19): Экономика. Право. Политология. С. 97–113.
2. Халафян А.А. Промышленная статистика. Контроль качества, анализ процессов, планирование экспериментов в пакете *STATISTICA*: учебное пособие для вузов/А.А.Халафян. Москва: URSS, 2013. 384 с.

УДК 624.9

### РАСЧЕТ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

### THE CALCULATION OF THE STEADY STATE OF A SYSTEM WITH CONNECTION NONSINUSOIDAL LOAD

Титова С. А., Шелюг С. Н.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
titovasofia@mail.ru, s.n.shelyug@urfu.ru

Titova S. A., Shelyug S. N.  
Ural Federal University, Ekaterinburg

**Аннотация:** Качественный расчет установившихся режимов электроэнергетических систем является одной из основных задач современной электроэнергетики. Существующие методики расчета весьма успешно применяются, но с учетом ряда допущений, пренебрегающих несимметричностью и несинусоидальностью, возникающих в сети. Данная работа на практическом примере доказывает ошибочность не учета искажения формы сигнала тока и напряжения при расчете установившихся режимов.

**Abstract:** The high-quality calculation of a system's steady state is one of the most pivotal goal for present-day power generating industry. Existing calculation methods are highly effectually used but with taking some allowances and without any respect to nonsinusoidal and asymmetrical appearances in power grid. This paper on real example proves that ignoring of current and voltage signals distortion is bound to be mistakenness.

**Ключевые слова:** *расчет установившегося режима; несинусоидальность; несимметрия; высшие гармонические составляющие.*

**Key words:** *calculation of steady state; unsinusoidality; asymmetry; higher harmonic components.*

Электроэнергетические системы (ЭЭС) представляют собой сложный организм, включающий в себя генерацию, передачу и потребление электрической энергии. Теория расчета режимов электрических сетей, используемая в задачах управления данным механизмом, предполагает ряд допущений, а именно представление трехфазных сетей однолинейной схемой замещения (что ведет к пренебрежению взаимного влияния фаз), принятие токов и напряжений сети симметричными и синусоидальными [1].

В настоящее время, с ростом количественных показателей нагрузки, а также и увеличением разнообразия ее исполнений, остро встает вопрос качества электроэнергии, что заставляет вносить коррективы в существующую модель расчета режимов ЭЭС, игнорирование которых ведет к различиям между расчетными и фактическими показателями, за счет наличия в сети потребителей с несимметричной и нелинейной нагрузкой, а также некоторых особенностей работы оборудования, которые являются причиной возникновения несимметричных и несинусоидальных режимов ЭЭС [5].

При расчетах несимметричных режимов трехфазных систем используется метод симметричных составляющих или его модификации, а также метод фазных координат [2], который дает возможность корректно учитывать однофазные и несимметричные трехфазные элементы. Для использования любого расчетного метода необходимо создание адекватных моделей элементов ЭЭС. В последних работах, посвященных расчету режимов в фазных координатах, для моделирования трансформаторов и линий электропередач используется теория многополюсников [3]. Говоря о несинусоидальных режимах, стоит отметить существенную сложность расчета в силу нелинейности взаимосвязей между параметрами режима и элементами электрической сети. Более того, несинусоидальные сети предполагают расчет режима в токах по причине того, что отсутствует научно доказанная точка зрения по определению величины реактивной мощности в условиях несинусоидальных напряжений и токов [6].

Приступая к расчету несинусоидальных установившихся режимов, необходимо предварительно разложить кривую тока и напряжения в ряд Фурье [4]. При составлении схемы замещения стоит учитывать проявление поверхностного эффекта, таким образом, значение активного и индуктивного сопротивлений возрастает пропорционально  $\sqrt{n}$ , где  $n$  – номер высшей гармоники (ВГ) [6]. Определение емкостной проводимости линии также требует некоторой корректировки с учетом ВГ. Продольное активное и индуктивное сопротивления, емкостная проводимость будут определяться как:

$$R_n = r_1 \cdot l \cdot \sqrt{n}, X_n = x_1 \cdot l \cdot \sqrt{n}, B_n = b_1 \cdot n \quad (1)$$

где  $l$  – протяженность ВЛ,  $r_1$  – активное сопротивление первой гармоники,  $x_1$  – индуктивное сопротивление первой гармоники,  $b_1$  – емкостная проводимость первой гармоники,  $n$  – порядковый номер ВГ.

На основании вышесказанного можно изобразить следующую расчетную схему (рисунок).

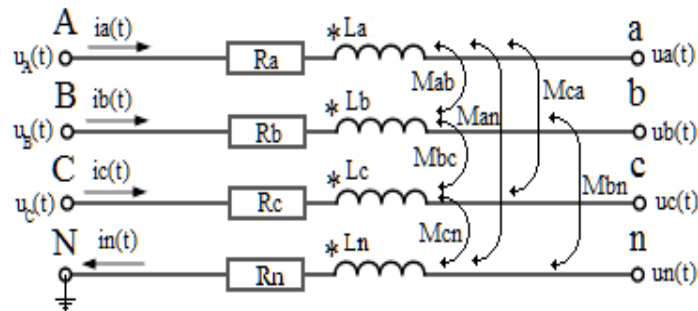


Схема замещения ВЛЭП для расчета в фазных координатах

Непосредственно при расчетах режима несинусоидальный сигнал будет разложен на гармонические составляющие [4]. После предварительного расчета для каждой гармоники в отдельности необходимо восстановить результирующий сигнал. Расчет будет проводиться методом узловых напряжений относительно точки N источника питания. Уравнения каждой гармоники будут записаны следующим образом [2]:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 Y_{11} + \dot{U}_2 Y_{12} + \dots + \dot{U}_n Y_{1n} &= \dot{I}_{11} \\ \dot{U}_1 Y_{n1} + \dot{U}_2 Y_{n2} + \dots + \dot{U}_n Y_{nn} &= \dot{I}_{nn} \end{aligned} \quad (2)$$

где  $Y_{kk} = Y_{uk} + \sum_{i \in k} Y_{ki}$ ;  $Y_{uk} = Y_{uka} + jY_{ukr}$  – проводимость шунта на землю в узле  $k$ ;

$Y_{ui} = Y_{uia} + jY_{uir}$  – проводимость ветви между узлами  $k$  и  $i$ ;  $\dot{I}_{kk} = \sum_{i \in k} \dot{I}_{ki} + \dot{E}_k Y_k$  – сумма токов, втекающих в узел  $k$ , сложенная с произведением.

Получены следующие расчетные результаты (таблица).

Результаты расчетов

Коэффициент искажение синусоидальности, %		Напряжения балансирующего узла, кВ	
Напряжение	Ток		
0	0	A	69,15
		B	69,15
		C	69,15
1,5	5,6	A	69,23
		B	70,26
		C	70,56
1,5	15,5	A	72,13
		B	73,21
		C	72,98

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что пренебрежение искажением формы кривой тока и напряжения в расчете установившихся режимов является источником серьезных погрешностей. Т. к. причиной нарушения синусоидальности формы кривой тока и напряжения является потребитель, то для повышения эффективности передачи и распределения электрической энергии необходимо повсеместное использование фильтрокомпенсирующих устройств. Их внедрение позволит снизить эффект от работы потребителей с нелинейной вольтамперной характеристикой.

#### Список использованных источников

1. Идельчик В. И. Электрические системы и сети: учебник для вузов. М. : Энергоатомиздат, 1989. 595 с
2. Крюков А. В., Закарюкин В. П. Моделирование электромагнитных влияний на смежные ЛЭП на основе расчета режимов энергосистемы в фазных координатах: монография. Иркутск : изд-во Иркут. гос. ун-та путей сообщения, 2009. 120 с.
3. Солдатов В. А., Попов Н. М. Моделирование сложных видов несимметрии в распределительных сетях 10 кВ методом фазных координат // Электротехника. 2003. № 10. С. 35–39.
4. Fourier J. B. J. Theorie analytique de la chaleur. Paris, 1822.
5. Жежеленко И. В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. 3-е изд., перераб. и доп. / И. В. Жежеленко. М. : Энергоатомиздат, 2000. 252 с.
6. Возисова О. С., Шелюг С. Н. Реактивная мощность в несинусоидальных системах // Электроэнергетика глазами молодежи-2015: тр. VI Междунар. молодежн. науч.-техн. конф., 9-13 ноября 2015 года; ФГБОУ ВПО «Ивановский гос. энергетический ун-т им. В. И. Ленина»; [отв. ред.: Тютиков В. В.]. Иваново : ИГЭУ им. В. И. Ленина, 2015. Т. 1. С. 75.

УДК 519.633

## **ОБОБЩЕННЫЕ ФУНКЦИИ В ЗАДАЧАХ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

### **GENERALIZED FUNCTIONS IN HEAT CONDUCTION PROBLEMS FOR MULTILAYERED BODIES**

Ткачев В. К., Еремин А. В.

Самарский государственный технический университет, г. Самара,  
a.v.eremin@list.ru

Tkachev V. K., Eremin A. V.  
Samara State Technical University, Samara